

九州におけるコンクリート構造物の凍害に関する研究

－メッシュ平年値を用いた凍害リスク評価－

阿武 稔也

1. はじめに

コンクリート構造物の凍害に対する危険性は、コンクリート構造物の供用条件に影響を受ける。気象環境を評価し、全国の凍害の危険性を示した代表的な研究例として、長谷川らが算定した凍害危険度の分布図¹⁾がある。これは、日本建築学会建築工事標準仕様書 JASS 5 鉄筋コンクリート工事²⁾などに反映され、現在でも貴重な資料として用いられている。しかし、詳細な位置の凍害危険度を分布図から読み取することは難しい、算定に使用された気象データはおよそ 50 年前のものであり、現在の気象との相違の可能性がある、全国一律の計算式で地域の気候特性が反映されにくいなどいくつかの課題がある。

そこで本研究では、九州7県を対象に、凍結融解日数が凍害のリスクを評価するうえで有効であることを、凍害を生じた構造物の分布と比較することで確認し、メッシュ気候値を用いることで従来の凍害危険度マップに比べ詳細なマップの試作を行った。さらに、同様の手法により、九州と同様に温暖な気候である四国についても検討を行った。

2. 従来の危険度マップ

長谷川らが算定した凍害危険度の分布図¹⁾は、気温・日射量・融雪量データに基づいて凍害の発生危険度を0～5の6段階に分類したものである。ここでは、1965～1970年の5年間の全国の気象官署140地点（うち九州は19地点）の気象データに基づき凍害危険度が算出されている。

九州においては、阿蘇・雲仙周辺のごく限られた範囲で危険度1「ごく軽微」とされるほか、内陸部の広い範囲において、「品質の悪い骨材を用いプレーンコンクリートとした場合の凍害発生危険地域」とされている。しかし、危険度1「ごく軽微」以下の危険度であるにもかかわらず、凍害を生じた事例は現在でも多く確認され、また、従来の凍害危険度マップで凍害の危険性が指摘されていない場所においても凍害事例は散見されている。

3. 凍結融解日数に基づく凍害リスク評価

従来の凍害危険度は、日最低・日最高気温と日射に

よる融解率から算定される凍結融解日数に、凍結温度による重みづけおよび融雪量に基づく湿潤程度を考慮することで算定される。

九州においては、寒冷地に比べ冬季の気温が高く、日最低気温が氷点下となる日においても日最高気温が氷点下となることはごく僅かであり、外気温のみによって凍結融解を繰り返す。また、寒冷地とは異なり、九州で気温が氷点下二桁になることは極めて稀である。さらに、積雪の継続は稀であるものの、内陸部では冬期も比較的湿度が高くコンクリートが湿潤な状態に保たれやすい。そこで、九州のような温暖な地域でより合理的に凍害の危険性を評価する手法として、凍結融解日数を利用する。九州（奄美地方を除く）において気温の観測が行われている気象官署・アメダス観測所112地点について、5年間（2011～2015年）の気象データから凍結融解日数を算定した。算定の結果を分布図として図1に示す。

算定の結果より、内陸部を中心に全凍結融解日数が40日/年を超える地点が分布していることが確認された。凍害と疑われる劣化が見られる構造物のほとんど

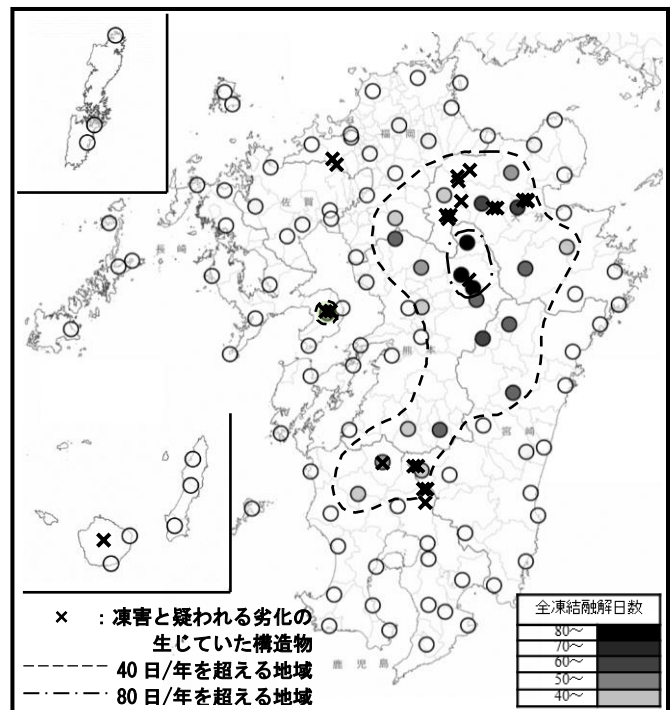


図1 全凍結融解日数（地理院地図より作成）

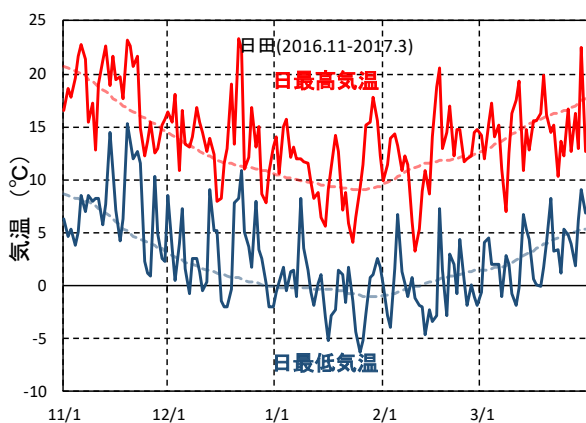


図2 冬季の気温の変動と平年値
(破線は平年値)

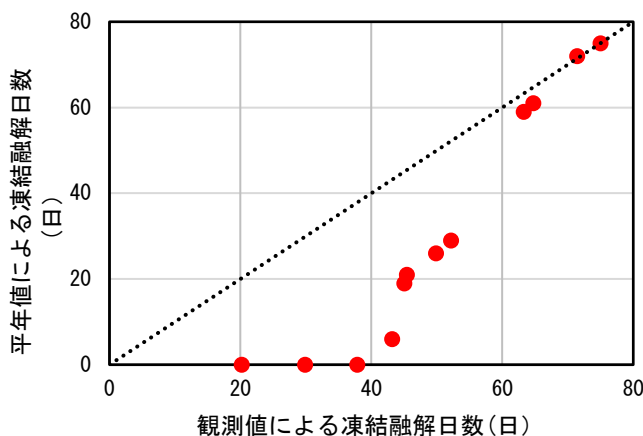


図3 観測値による凍結融解日数と平年値による凍結融解日数

がこの範囲に位置する。例外として、福岡・佐賀県境の脊振山地周辺や屋久島の山間部では、凍害の事例が見られるが、これは凍害の事例が見られる比較的標高が高い山岳上部には、気象観測地点が存在しないことが原因と考えられる。この地域は従来の凍害危険度の分布図で「品質の悪い骨材を用いプレーンコンクリートとした場合の凍害発生危険地域」に相当するものと考えられる。

また、熊本県阿蘇地方を中心に全凍結融解日数が80日/年を超える地点が分布することが確認された。これらの地域は、九州の中でも特に凍害事例が集中する地域にあたり、従来の危険度の分布図で危険度1に相当するものと考えられ、九州において最も凍害の危険性のある地域であると考えられる。

4. メッシュ平年値による詳細な気象データの入手

凍結融解日数による凍害のリスク評価は、従来の凍害危険度マップに比べ、気象データの算定を行った地点は多く、より詳細な地点で評価できているといえるが、依然として詳細な位置の危険性を評価することは難しい。そこで詳細な地点での気象データを評価する手段として、「メッシュ平年値2010」³⁾を用いるものとする。

「メッシュ平年値2010」は気象庁により公開されたもので、統計期間1981～2010年の平年値を用いて、气象台やアメダス観測所のない所の平年値を、地形等の影響を考慮に入れて1kmメッシュで推定したものである。メッシュ平年値には、各月および年の平均気温、日最高気温、日最低気温、降水量、日照時間、全天日射量、最深積雪のデータが収録されており、日本の大部分が表示可能となっている（ただし、最深積雪のメッシュ平年値は、積雪が少なかった九州、四国、山陽、近畿中南部などでは値が作成されていない）。

5. メッシュ平年値を用いた凍害リスク評価

5.1 平年値による凍結融解日数

メッシュ平年値を用いて凍害リスクの評価を試みるが、この値はあくまでも平年値であり、日々の気温の変動が、平均化されたものである。九州のような温暖な地域は、冬季の日々の気温の変動が、気温の低下に大きく振れたときに凍結融解日となる地点が多い。例として、図2に日田の2016年11月～2017年3月に実際に観測された日最低・日最高気温および平年値を示す。ここでは、日最低気温の観測値は12月から3月上旬にかけて断続的に氷点下となるものの、平年値では日最低気温が氷点下になるのは1月から2月上旬に限られ、観測値と平年値に差があることが分かる。

また、図3に九州の主要気象観測地点13か所について、1981～2010年の30年間の日々の実際の観測値から求めた凍結融解日数（観測値による凍結融解日数）と平年値による凍結融解日数の関係を示す。観測値による凍結融解日数が70日を超える地点においては、一定の相関が認められるが、凍結融解日数が70日を下回る地点においては、相関は認められず、特に凍害リスクを評価するうえで重要と考えられる観測値による凍結融解日数が40日程度の地点では、平年値による凍結融解日数と大きな差がある。

以上のことからメッシュ平年値は詳細な地点での気象データを利用できるが、あくまでも平年値であり、凍害リスクを評価するためにこれを直接用いることは困難であるといえる。

5.2 月最低気温を用いた凍害リスク評価

メッシュ平年値は凍害リスクを評価するためにこれを直接用いることはできない。そこで月最低気温の平年値に着目し、これを用いることで、凍害リスクを評価する手法を検討する。

図4に九州において1981～2010年の30年間に気温の観測が行われた92地点の観測値による凍結融解日数と12～3月の月最低気温の年平均値の関係を示す。

この結果、観測値による凍結融解日数は各月の最低気温の年平均値と強い相関関係にあることが認められ、特に12月の月最低気温では、観測値による凍結融解日数が5.0日以上で $R^2=0.968$ と極めて強い相関があるといえる。ゆえに、月最低気温を用いることで凍害リスクを評価することが可能であると考えられ、ここでは最も相関の強い12月の月最低気温の年平均値を利用する。

3章での検討から得られた、凍結融解日数が40日/年を超える地域が、凍害の見られる構造物の分布と一致し、従来の凍害危険度マップで「品質の悪い骨材を用いプレーンコンクリートとした場合の凍害発生危険地域」に相当すること、凍結融解日数が80日/年を超える地域が九州の中で最も凍害の危険性の大きな地域であり、従来の凍害危険度マップで危険度1「ごく軽微」に相当するという結果は、12月の月最低気温の年平均値において、それぞれ表1のとおり対応する。これにより、メッシュ年平均値で12月の月最低気温の年平均値を表示することで、凍害のリスクを評価することが可能になると考えられる。図5に12月の月最低気温のメッシュ年平均値を示す。12月の月最低気温が1.4℃を下回る地域が凍害の発生するリスクが存在し、従来の凍害危険度マップで「品質の悪い骨材を用いプレーンコンクリートとした場合の凍害発生危険地域」に相当し、-1.8℃を下回る地域は九州の中で特に凍害のリスクが高く、従来の凍害危険度マップで危険度1「ごく軽微」に相当すると考えられる。

5.3 試作マップの特徴

本研究で作成した試作マップは、1km四方ごとに気象データを分析したもので、従来の凍害危険度マップに比べ、詳細な地点での評価が可能となった。試作マップの特徴を代表的な地域について表2に示す。

全体的な傾向として、凍害の見られる構造物の分布と一致する12月の月最低気温が1.4℃を下回る地域は従来の凍害危険度マップでの「品質の悪い骨材を用いプレーンコンクリートとした場合の凍害発生危険地域」より、また、九州の中で最も凍害の危険性の大きな地域と考えられる12月の月最低気温が-1.8℃を下回る地域は従来の凍害危険度で危険度1である地域より、それぞれ広範囲が該当する。いずれの地域は主に山間部であり、従来の凍害危険度マップでは気象観測点が存在しないことで、適切な評価がなされていなかった可

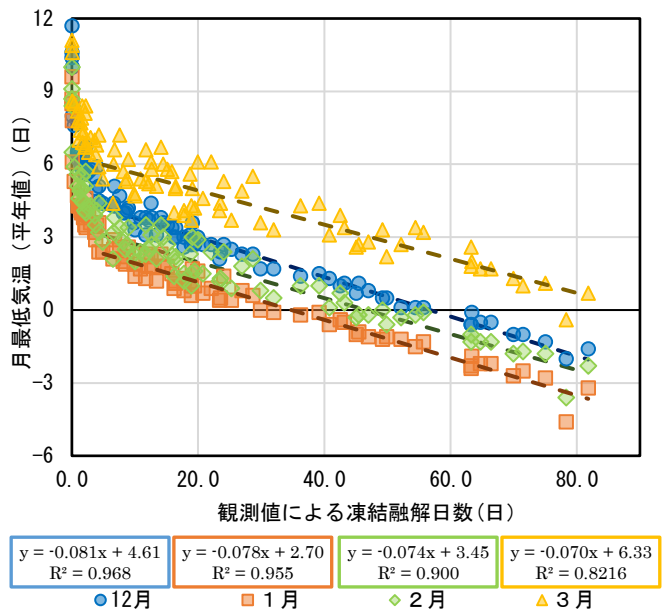


図4 観測値による凍結融解日数と月最低気温

表1 九州の凍結融解日数と12月の月最低気温

凍結融解日数(日)	12月の月最低気温(°C)
40<	<1.4
80<	<-1.8

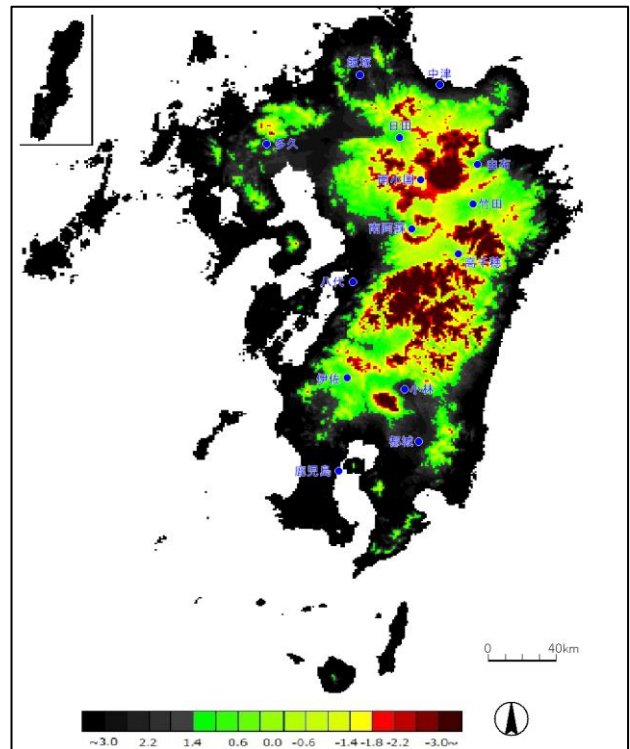


図5 九州の12月最低気温による試作マップ

能性がある。また、脊振山地や屋久島など、従来の凍害の危険性が指摘されていなかったものの、凍害の事例が見られた地域においても、詳細な評価が可能となり、実際の事例の分布との整合性が取れたものとなった。

表2 九州の試作マップの凍害危険地域

地域	従来の凍害危険度	試作マップでの評価
阿蘇	1	1 中央の山岳部および外輪山
		△ カルデラ盆地内部
雲仙	1	1 山頂部のごく限られた範囲
		△ 標高約 650m を超える範囲
大分県日田市 ～ 大分県由布市	△	1 九重連山、由布岳、筑肥山地、 釈迦岳などの山間部の広い範囲
九州山地	△	1 熊本・宮崎県境の広い範囲
祖母・大崩山	△	1 標高約 800m を超える山岳部
霧島	△	1 標高約 800m を超える山岳部
脊振山地・天山	0	1 天山の山頂部
		△ 脊振山地の大部分
鱈塚山地	0	1 鱈塚山の山頂部
		△ 標高約 400m を超える山岳部
大隅半島	0	△ 内陸部に点在
屋久島	0	△ 標高約 1500m を超える山岳上部

※△：品質の悪い骨材を用いプレーンコンクリートとした場合の凍害発生危険地域

表3 四国の凍結融解日数と12月の月最低気温

凍結融解日数(日)	12月の月最低気温(°C)
40<	<1.6
80<	<-1.6

6. 四国への適用

四国の冬季の気候は、内陸部においても日最低気温が氷点下となる日でも日最高気温が氷点下となることは稀であるなど、温暖な九州と類似した特性を持つ。そのため、九州において月最低気温の平年値を用いて凍害リスクを評価した手法が、四国においても適用が可能であると考えられる。ここでは、九州と同様の手法を用いて四国においても凍害リスクの評価を行った。ただし、四国においては、十分な凍害事例調査が行われていないため、3章での検討から得られた、凍結融解日数が40日/年を超える地域が、従来の凍害危険度マップで「品質の悪い骨材を用いプレーンコンクリートとした場合の凍害発生危険地域」に相当すること、凍結融解日数が80日/年を超える地域が、従来の凍害危険度マップで危険度1「ごく軽微」に相当するという結果は、これを四国においても利用するものとする。また、従来の危険度マップでは四国では最大で危険度3「やや大きい」が示されているが、ここでは危険度1以上の危険性を持つ地域を示すことにとどめるものとする。

九州の手法と同様に、四国において観測値による凍結融解日数と月最低気温の相関をとった結果、四国においても12月の最低気温が最も相関が高く、表3に示す値で凍害リスクの評価が可能であることが分かった。この結果から、四国の試作マップが図6に示された。

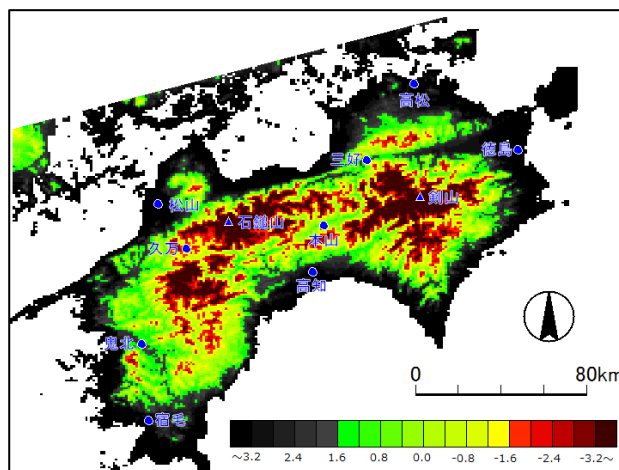


図6 四国の12月最低気温による試作マップ

四国においては、今後、凍害の事例調査を重点的に行うことで、危険度1～3のランク付けを含めたより精度の高いマップの作成が可能であると考えられる。

7. まとめ

- (1) 凍結融解日数により凍害の危険性について評価することが可能であると考えられる。凍結融解日数が40日/年を超える地域が凍害の見られる構造物の分布と一致し、凍結融解日数が80日/年を超える地域が九州の中で最も凍害の危険性の大きな地域であると考えられる。
- (2) 1981～2010年に気温の観測が行われた九州の92地点において、観測値による凍結融解日数と月最低気温の平年値の間に強い相関が認められた。特に、12月の月最低気温では、5.0日以上の範囲で $R^2=0.968$ と極めて強い相関ある。
- (3) 月最低気温の平年値を用いることで凍害のリスク評価が可能である。ここでは、最も相関の強い12月の月最低気温のメッシュ平年値を利用し凍害リスクを評価した九州の試作マップを作製した。
- (4) 九州と同様の手法により四国の凍害リスク評価も可能である。ただし、四国については、凍害の事例調査を行い、危険度1以上の評価についても検討する必要がある。

参考文献

- 1) 長谷川寿夫：コンクリートの凍害危険度算出と水セメント比限界値の提案，セメント技術年報，No.29,248-253,1975
- 2) 日本建築学会：建築工事標準仕様書・同解説 JASS 5 鉄筋コンクリート工事，2015
- 3) 国土交通省国土政策局情報課「国土数値情報ダウンロードサービス」
<http://nlftp.mlit.go.jp/ksj/index.htm>